

Rechnergestütztes Materialdesign

Wriggers, Peter

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 2001 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.61-64



J. Cramer Verlag, Braunschweig

P. WRIGGERS, Hannover

Rechnergestütztes Materialdesign

Braunschweig, 09.11.2001*

Gegenstand des Vortrages ist die Entwicklung von computerorientierten Methoden für das Design und das Verstehen von Materialeigenschaften. Dabei wird von Untersuchungen auf der Mikro-Skala ausgegangen, um das Materialverhalten durch einfachere Modelle auf dieser Skala zu beschreiben und durch Homogenisierungsprozesse schließlich zu komplexeren Modellen der Makro-Skala zu gelangen. Diese Untersuchungen dienen mehreren Zwecken. Zum einen können so Herstellprozesse simuliert werden. Dies ist im Bild 1 für Neopolen gezeigt, wo ein Haufen loser Partikel während des Herstellvorganges zusammengepresst und verklebt wird.

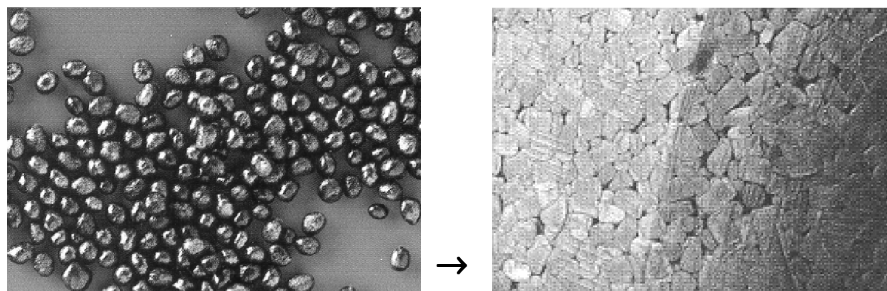


Bild 1: Klebprozess von Neopolen.

Zum anderen kann man Experimente und das Versagensverhalten von Proben besser verstehen, wenn diese von einer Mikro-Makro-Simulationsrechnung begleitet werden. Darüber hinaus ist es möglich, weitere Feldgleichungen – wie bei thermo-hygro-chemischen Prozessen – in die mechanischen Feldgleichungen einzubeziehen und so gekoppelte physikalische Phänomene wie Schädigung durch Korrosion oder Wärmeentwicklung in den Materialgleichungen zu berücksichtigen.

Um bei solchen Modellen erfolgreich zu sein, muss eine statistische Auswertung mit Homogenisierungsstrategien verknüpft werden. Letztere erfordern die Wahl eines repräsentativen Volumenelementes (RVE), das die Größen-Effekte eliminiert. Dies ist in Bild 2

* Kurzfassung eines Vortrags gehalten in der Klasse für Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

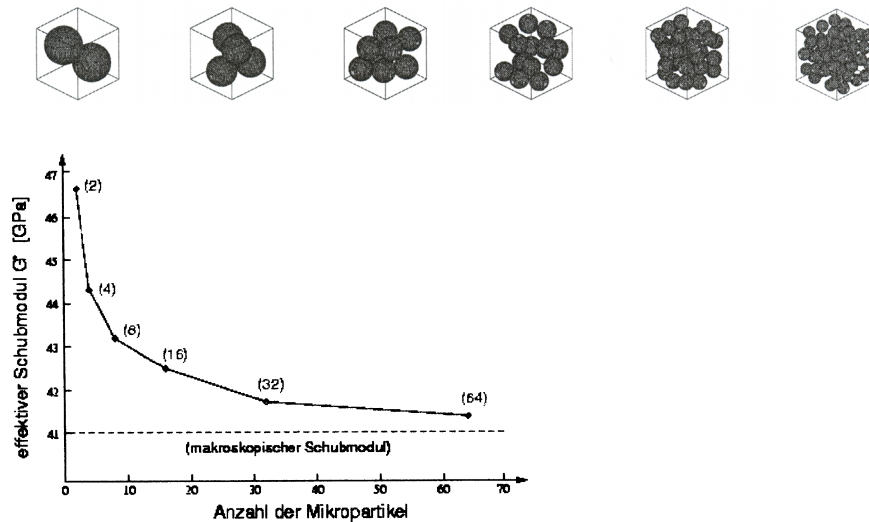


Bild 2: Konvergenzstudie: effektiver Schubmodul bezüglich der Anzahl der Partikel im RVE.

für die Berechnung des effektiven Schubmoduls als Materialparameter eines heterogenen Materials dargestellt, bei der die Anzahl der Partikel bei gleicher Volumenfraktion (Verhältnis zwischen Matrix- und Partikelmateriale) erhöht wurde. Man erkennt deutlich, dass die numerische Simulation erst bei einer Anzahl von 64 Partikeln bezüglich des effektiven Schubmoduls konvergiert. Numerisch gesehen ist eine derartige Berechnung sehr aufwendig, da auch die Konvergenz der Finite-Element-Näherungslösung nachzuweisen ist. Hierzu sind mindestens 5000 Unbekannte pro Partikel erforderlich, was bei 32 Partikeln bereits zu 160.000 Unbekannten führt. Jedoch kann man hier eine iterative Lösungsstrategie einschlagen, die es ermöglicht eine lineare Berechnung mit der oben angegebenen Unbekanntenzahl in 1 Minute auf einem PC durchzuführen, siehe auch [1]. Um statistisch repräsentative Ergebnisse für die Materialparameter zu erhalten, sind diese weiterhin noch für verschiedene Verteilungen der Partikel in der Mikrostruktur zu bestimmen. Dies führt z. B. auf die in Bild 3 dargestellte Verteilungsfunktion des effektiven Schubmoduls μ^* , die für 100 bzw. 512 verschiedene Verteilungen der Partikel in der Matrix berechnet wurde.

Die auf numerischem Wege bestimmte Lösung mit dem Mittelwert $\mu^* = 42,1$ GPa kann durch die klassischen Schranken von Voigt und Reuss mit den Grenzwerten: $30,8 < \mu^* < 57,7$ und durch die verbesserten Hashin-Shtrikman Schranken mit den Grenzen $35,4 < \mu^* < 45,6$ für linear elastisches Material eingegrenzt werden.

Diese Methodik wird nun auf die Prozess-Simulationen des in Bild 1 dargestellten Klebevorganges angewendet. Die numerische Lösung erfolgt mittels der ALE Methode auf Basis der Methode der finiten Elemente. Wenn die Partikel während des Kompressionsprozesses in Kontakt kommen, wird von einem Verkleben ausgegangen, bei dem sich die

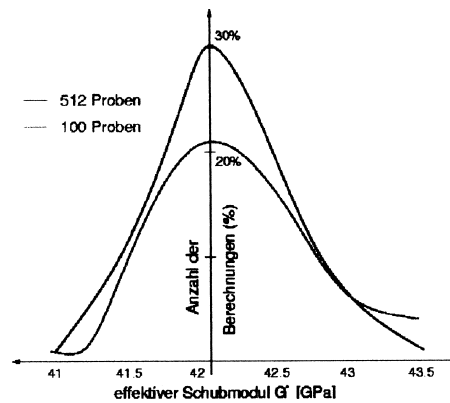


Bild 3: Verteilungsfunktionen des effektiven Schubmoduls s_m^* .

Partikel nicht mehr voneinander trennen können. Der eigentliche Diskretisierungsprozess soll hier nicht detailliert wiedergegeben werden, er findet sich u.a. in [1]. Das Ergebnis einer Beispielrechnung findet sich im Bild 4, das den Klebeprozess von 20 Partikeln für eine maximale Zusammendrückung von 25 % darstellt. Weiterhin ist in diesem Bild die totale vertikale Reaktionskraft über der Kompression aufgetragen. Man kann aus dem Diagramm die infolge der fortschreitenden Verklebung ansteigende Steifigkeit erkennen. Aufgrund der Verklebung behält das komprimierte Material die gewonnene Steifigkeit beim Entlasten.

Die vorgestellte Methodik muss noch weiterentwickelt werden und ist durch experimentelle Ergebnisse zu untermauern. Jedoch ist man mit dem entwickelten Werkzeug in der Lage Prozess Simulationen durchzuführen und erhält damit genaueren Einblick in die Abläufe der Prozesse und der entstehenden inneren mechanischen Beanspruchungen im neu geschaffenen Werkstoff.

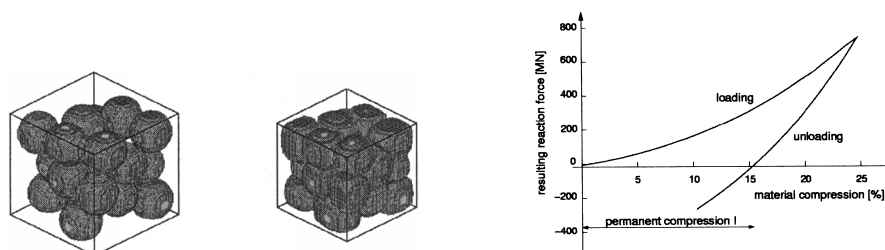


Bild 4: Ausgangs- und Endkonfiguration, sowie Reaktions-Kompressions-Diagramm.

Literatur:

- [1] T. I. Zohdi, P. Wriggers, Computational Micro-Macro Material Testing, Archives of Computational Methods in Engineering, **8**, 131-228, 2001.

Prof. Dr.-Ing. P. Wriggers
Institut für Baumechanik und Numerische Mechanik
Universität Hannover · IBNM
Appelstraße 9 A · D-30167 Hannover